



9935 SMART PLANT: A TECNOLOGIA EM PROL DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE ETES

Isabelly Silva Siqueira

Tecnóloga em Hidráulica e Saneamento Ambiental e Graduada em Engenharia Civil

Karyn Lopes Vasconcello

Graduada em Engenharia Civil e Técnica em Administração

Lara Batista Barreto dos Santos

Graduada em Engenharia Civil e Técnica em Construção Civil

Daniel de Almeida Silva Gonçalves

Gestor do cadastro técnico da produção na SABESP e professor na Universidade de Mogi das Cruzes - UMC

Endereço: Rua Humberto I, N° 254 Apartamento 102 A – Vila Mariana – São Paulo - São Paulo - CEP: 04018-030 - País - Tel: +55 (11) 99763-4562 - e-mail: isabelly.siq@gmail.com.

RESUMO

O desenvolvimento humano sempre esteve vinculado ao consumo de recursos naturais. Com impactos ao meio ambiente mais evidentes, o crescimento sustentável tornou-se uma exigência. Nesse sentido, os resíduos ainda são um problema que muitos países não solucionaram, mesmo aqueles provenientes das Estações de Tratamento de Esgotos (ETE). Porém, em países desenvolvidos, novas tecnologias de reaproveitamento de resíduos como a SMART Plant têm sido estudadas e aplicadas, alcançando resultados positivos na obtenção de subprodutos industriais. Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), as ETES utilizam o processo convencional de lodos ativados, gerando água de reuso e lodo desidratado como principais resíduos, mas há pouquíssimo reaproveitamento. Assim, para adicionar informações à literatura técnica brasileira sobre a tecnologia SMART Plant, este artigo tem como objetivo apresentar seu conceito, processos e produtos que podem ser reaproveitados e obtidos, e como as ETES da RMSP poderiam ganhar com a implantação dessa tecnologia, agregando valor econômico e benefícios para o meio ambiente e para a população. Após análise dos dados, percebeu-se que as ETES da RMSP poderiam se beneficiar economicamente e impactar positivamente no meio ambiente se aplicassem a tecnologia, principalmente por estarem próximas à áreas industriais, atingindo o grande objetivo de se desenvolver com sustentabilidade.

Palavras-chave: *SMART-Plant*. Resíduos. Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

A humanidade tem se desenvolvido em diferentes aspectos econômicos e sociais, entretanto, essa evolução impactou diretamente os recursos naturais. Assim, o uso desenfreado dos recursos tornou eminente a necessidade de um desenvolvimento mais sustentável, que é um conceito onde as necessidades atuais dos seres humanos sejam supridas de forma que as próximas gerações possuam os mesmos recursos para seu uso e desenvolvimento^{1,2}.

Dentre os recursos naturais explorados, a água é imensamente importante para a manutenção da vida e do meio ambiente. Porém seu elevado consumo como matéria prima e para uso pessoal geram grandes volumes de esgoto. Portanto é de suma importância que novos mecanismos e tecnologias para tratamento de esgoto sejam criados, testados e modificados, a fim de que o esgoto seja lançado no corpo receptor causando o menor impacto possível³.

Nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), onde os esgotos coletados são tratados antes do lançamento no corpo receptor, os componentes poluidores são separados da água por diferentes etapas de tratamento, que acontecem em duas fases: a sólida e a líquida. Com isso, obtém-se lodo desidratado - o qual é disposto em aterros sanitários - e a água, sem 90% das impurezas, o qual é devolvido aos rios ou reaproveitado para limpar ruas, praças e regar jardins⁴.

Atualmente, as ETES brasileiras não possuem procedimentos para transformação dos resíduos do tratamento em novos subprodutos, perdendo uma ótima oportunidade para recuperação do meio ambiente já bastante degradado⁴. Mas essa situação vem mudando em países desenvolvidos. Um exemplo disso é a *Smart Plant*, uma nova tecnologia que potencializa o tratamento de esgoto, recuperando produtos e matérias-primas reutilizáveis sem prejuízo à cadeia produtiva, proporcionando diminuição de custos e benefícios ao planeta⁵.



Assim, para que essa tecnologia possa ser utilizada também nas ETEs brasileiras, faz-se necessário entendê-la de forma a se avaliar onde poderia ser aplicada e quais subprodutos poderia gerar. É exatamente nessa linha que este artigo pretende atuar, apresentando a tecnologia *Smart Plant*, suas etapas e métodos, e possíveis subprodutos que poderiam ser gerados em ETEs da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

2. O TRATAMENTO DE ESGOTOS E SEUS RESÍDUOS

O sistema de esgotamento sanitário empregado no Brasil normalmente é do tipo separador absoluto, onde os despejos domésticos - compreendidos por águas servidas (utilizadas para higiene e necessidades fisiológicas da população); resíduos líquidos industriais; águas de infiltração; e águas subterrâneas - por meio de canalizações e órgãos acessórios, são conduzidas, tratadas e devolvidas ao corpo receptor em sistema independente das águas de chuva (drenagem urbana)⁶.

Esse sistema (Figura 1) é composto basicamente pelas fases de coleta (canalizações ou redes coletoras que recebem os esgotos das ligações prediais), transporte (condução dos esgotos por gravidade ou por Estações Elevatórias de Esgotos – EEE aos coletores-tronco e canalizações de diâmetros maiores, como interceptores e emissários, os quais fazem o transporte até a ETE), tratamento e destinação final ao corpo receptor. Os resíduos sólidos (lodo digerido e desidratado) são direcionados aos aterros sanitários, devidamente caracterizados conforme legislação vigente⁶.

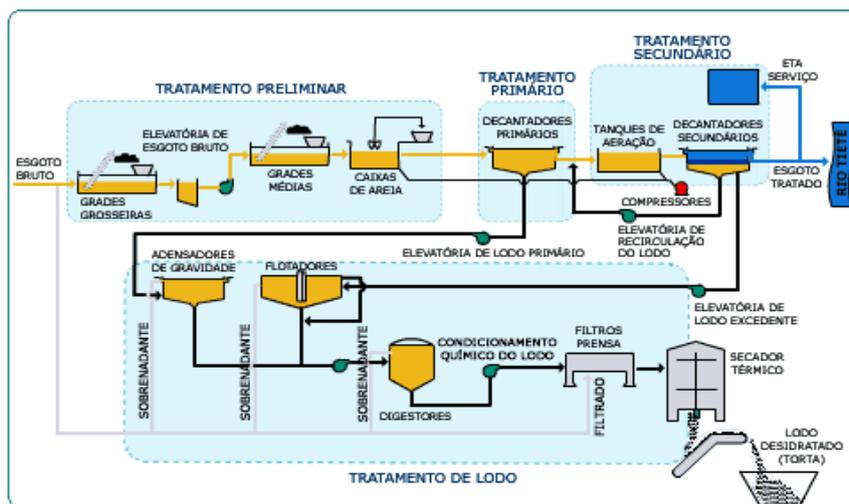


Figura 1 - Fluxograma do Processo de Tratamento de Esgoto Sanitário ⁷.

O tratamento pode ser definido como preliminar quando são removidos sólidos grosseiros e areias por meio de gradeamento e caixa de areia, ocorre a separação de sólidos sedimentáveis objetivando a redução do consumo de energia durante o estágio de aeração. Na fase secundária ocorre o processo biológico, onde a matéria orgânica é removida por ação de bactérias. O tratamento terciário consiste na remoção de microorganismos e nutrientes como fósforo e nitrogênio. (Tabela 1)⁸.

NÍVEL	REMOÇÃO
Preliminar	- Sólidos em suspensão grosseiros (materiais de maiores dimensões e areia)
Primário	- Sólidos em suspensão sedimentáveis - DBO em suspensão (matéria orgânica componente de sólidos em suspensão sedimentáveis)
Secundário	- DBO em suspensão (matéria orgânica em suspensão fina, não removida no tratamento primário) - DBO solúvel (matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos)
Terciário	- Nutrientes, patogênicos, compostos não biodegradáveis e metais pesados; - Sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescentes

Notas: 1- A remoção de nutrientes (por processos biológicos) e de patogênicos pode ser considerada como integrante do tratamento secundário, dependendo da concepção do tratamento local; 2 - DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio.

Tabela 1: Níveis do Tratamento de Esgoto ⁹.



2.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS (ETE)

A ETE delimita-se pelas instalações necessárias para que o tratamento de esgotos ocorra com eficácia. A metodologia de tratamento de despejos domésticos e industriais mais utilizada em ETEs é o sistema de lodos ativados (Figura 2), que permite o tratamento mesmo em situações de reduzidos requisitos de área e uma elevada qualidade do efluente¹⁰.



Figura 2: ETE Suzano ¹¹.

O sistema de lodos ativados divide o tratamento em duas fases: líquida e sólida. Assim, cada etapa é destinada a um ciclo pré-estabelecido de acordo com a classificação física e química do efluente⁹.

2.1.1 Fase Líquida

Para Von Sperling⁹, professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, as unidades de tratamento da fase líquida podem ser descritas da seguinte forma:

- **Grades:** compreende a primeira fase do tratamento, onde ocorre a remoção dos sólidos através de grades, peneiras rotativas ou trituradores;
- **Desarenador:** mais conhecida como caixa de areia, tem como função a remoção de areia pelo mecanismo de sedimentação;
- **Decantador Primário:** os sólidos em suspensão, por possuírem densidade maior que a do líquido, sedimentam gradativamente no fundo dos tanques, gerando uma massa sólida, chamada de lodo primário bruto. Os elementos como óleos e graxas, são separados por flotação, sobem para a superfície dos decantadores, onde são coletados e removidos para tratamento subsequente (Figura 3):



Figura 3: Decantador Primário (ETE Suzano)

- **Tanque de Aeração ou Reator Biológico:** inicia-se o tratamento biológico com a inserção de oxigênio, onde ocorrem as reações e os processos de biodegradação ou depuração da matéria orgânica presente nos esgotos;



- **Decantador Secundário:** tanque onde ocorre a separação da fase líquida sobrenadante da biomassa formada por flocos bacterianos, que se sedimentam e depositam-se ao fundo do tanque formando o lodo secundário (Figura 4):



Figura 4: Decantador Secundário (ETE Suzano)

- **Sistema de Recirculação de Lodo:** sistema de bombeamento responsável pela recirculação do lodo formado no processo de decantação para o interior do tanque de aeração ou reator biológico com o objetivo de aumentar a concentração de bactérias (microrganismos) encarregadas pela biodegradação ou depuração da matéria orgânica.

As características que o efluente apresenta após as diferentes etapas de tratamento são: efluente bruto, lodo do reator aeróbio, lodo do retorno do decantador e efluente tratado. Os resíduos líquidos gerados no tratamento biológico de esgotos são efluentes tratados, aptos à serem devolvidos ao corpo receptor, efluentes com qualidade superior de tratamento que podem ser reutilizados no meio agrícola, industrial, urbano e ambientais¹².

Na fase líquida, alguns subprodutos sólidos já podem ser gerados, tais como¹³:

- **Material gradeado** - material retido através do gradeamento inicial (embalagens plásticas, móveis, plantas, roupas etc);
- **Escuma** é a matéria que se acumula na superfície do efluente quando o mesmo está nos reatores. Como a gordura, por exemplo;
- **Areia** - retirada do efluente através do desarenador (Figura 5).



Figura 5: Areia retirada do efluente (ETE Suzano)



2.1.2 FASE SÓLIDA

O tratamento da fase sólida dos esgotos consiste no aumento do teor de sólidos para redução do seu volume através da estabilização e desidratação do lodo gerado para sua disposição final⁹.

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP)⁷ descreve da seguinte forma esta fase de tratamento:

- **Adensadores por Gravidade:** o lodo permanece em período de detenção adequado até que os sólidos suspensos sejam compactados pela ação da gravidade no fundo do tanque, otimizando o processo de secagem;
- **Adensadores por Flotação:** consiste na separação da água do sólido por meio do ar, que é introduzido na solução através de uma câmara de alta pressão. Quando a solução é despressurizada, o ar dissolvido forma micro-bolhas que sobem, arrastando os flocos de lodo para a superfície;
- **Estabilização:** consiste estabilização total ou parcial das substâncias instáveis e da matéria orgânica presentes no lodo fresco, com o intuito de restringir patogênicos, reduzir volume, umidade e possibilitar sua utilização como húmos ou condicionador de solo para fins agrícolas;
- **Condicionamento químico de lodo:** preparação do lodo para sua desidratação mecânica na etapa subsequente, resultando na coagulação de sólidos e a liberação da água adsorvida;
- **Desidratação mecânica de lodo:** consiste na remoção da umidade e redução do volume do lodo por meio de equipamentos mecânicos, como filtros e centrífugas, resultando em uma alta concentração de sólidos e baixa turbidez do filtrado;
- **Secagem térmica do lodo:** processo de secagem através da evaporação de água com a aplicação de energia térmica, obtendo-se um volume final de lodo reduzido significativamente;
- **Disposição final:** destinação final do lodo digerido e desidratado, normalmente encaminhado aos aterros sanitários.

2.1.3 TRATAMENTO TERCIÁRIO

Em virtude da existência de poluentes específicos, como matéria orgânica, compostos não biodegradáveis, nutrientes, metais pesados etc., que não podem ser removidos nos processos comuns de tratamento descritos anteriormente, tem-se a necessidade da aplicação de tratamentos terciários de efluentes por meio de técnicas físico-químicas ou biológicas de processamento. Os processos que podem ser adotados nos tratamentos terciários podem ser classificados basicamente em¹⁴:

- **Tecnologias de Transferência de Fase:** quando os contaminantes passam da fase aquosa para outra fase, que é capaz de ser transmitida para a atmosfera ou ser convertida em resíduo sólido;
- **Tecnologias Destrutivas:** o poluente é, de fato, transformado em decorrência da oxidação da matéria orgânica em matéria inorgânica.

2.2 SMART PLANT NA GESTÃO DE RESÍDUOS DE ETES

A *SMART Plant* utiliza métodos para otimizar o gerenciamento de resíduos de diversas fontes, com o objetivo de utilizá-los com máxima eficiência, minimizar sua disposição no meio, recuperar e regenerar produtos e matérias-primas, reutilizando-os sem causar prejuízo à cadeia produtiva e colocando-os de volta em circulação, gerando economia financeira e benefícios ao planeta⁵. O sistema *SMART Plant* promove o conceito de recuperação de recursos de efluentes através de uma plataforma tecnológica desenvolvida com o intuito de impulsionar o desenvolvimento de novos produtos e oportunidades de negócios (Figura 6)⁵.



Figura 6: Conceito circular smart plant⁵.

Em ETEs, o sistema traz soluções eco-inovadoras e eficientes em termos de energia para otimizá-las e fechar a cadeia de valor circular, aplicando técnicas de baixa emissão de carbono para recuperação de materiais que de outra forma seriam perdidos. Para isso, tem como foco quatro pilares centrais⁵:

- I Economia circular;
- II Monitoramento robótico;
- III Gestão de resíduos urbanos; e
- IV Integração dos sistemas de tratamento de efluentes.

2.2.1 FASES DO PROCESSO

O sistema consiste em implementar sistemas automatizados com o objetivo de otimizar o processo de tratamento de esgoto, recuperação de recursos, eficiência energética e redução de emissões de gases de efeito estufa (Figura 7)⁵.

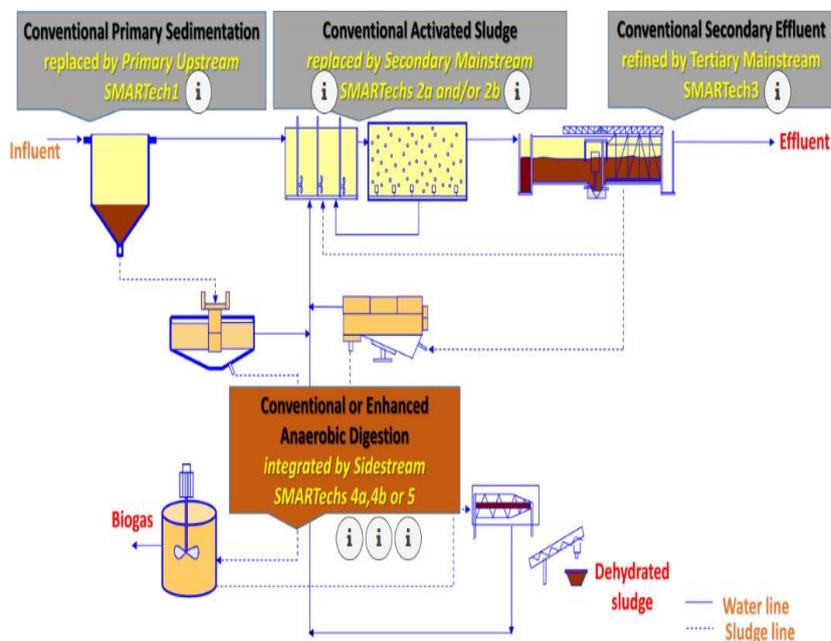


Figura 7: Plataforma tecnológica SMART-Plant⁵.

O projeto *SMART-Plant* envolve sete técnicas de recuperação de materiais que podem ser aplicadas à ETEs existentes, cada uma é demonstrada através de um sistema piloto totalmente operacional: SMARTech1; SMARTech2a; SMARTech2b; SMARTech3; SMARTech4a; SMARTech4b; SMARTech5. Segundo os



idealizadores do projeto, os sistemas pilotos serão otimizados por mais de dois anos em ambiente real em cinco estações municipais de tratamento de efluentes, incluindo também duas instalações de pós-processamento¹⁵:

- **SMARTech1**

A Tecnologia SMARTech1 permite a coleta primária de celulose nas ETE's de médio e grande porte. A celulose é um ingrediente-chave do papel higiênico, portanto está presente em grandes quantidades nos esgotos, podendo ser usada para fazer bioplásticos e materiais de construção como asfalto. A implantação do equipamento denominado filtro Salsnes (Figura 8) permite a recuperação máxima de matérias-primas utilizando a concentração de efluentes passados pela peneira fina dinâmica⁵.



Figura 8: Filtro Salsnes ¹⁶.

O filtro Salsnes separa as lamas celulósicas do esgoto bruto, que são então refinadas e limpas por pós-processamento. Isso permite substituir os processos de tratamento convencionais como decantação, floculação e desidratação (Figura 9)¹⁶.

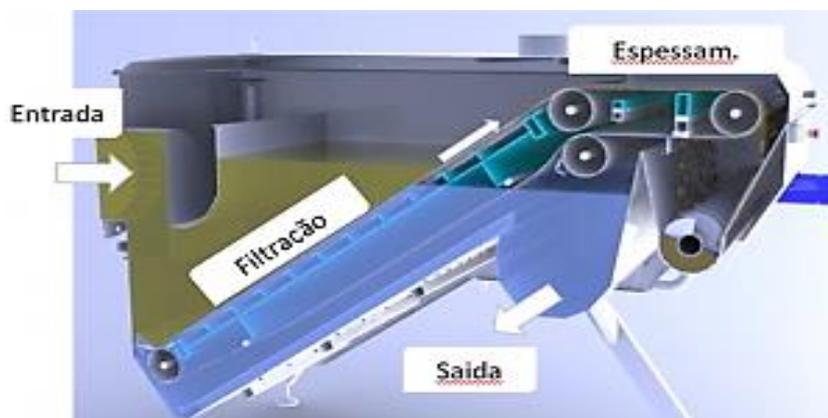


Figura 9: Mecanismo de separação de sólidos - Filtro Salsnes ¹⁶.

- **SMARTech2a**

A Tecnologia SMARTech2a permite a recuperação secundária de biogás usando um biofiltro anaeróbico a base de poliuretano. Este processo permite a recuperação do biogás de ETEs de pequeno e médio porte que apresentam picos de carga orgânica irregulares. Funciona usando um biofiltro com uma inovadora matriz de imobilização baseada em polímeros, que é aplicada no processo de lodos ativados. Assim como a recuperação de biogás, que pode ser usada para gerar energia, a tecnologia resulta em alta remoção de demanda química de oxigênio (DQO) e sólido suspenso total (SST), de modo que o efluente tratado possa ser reutilizado na agricultura¹⁵.

- **SMARTech2b**



A tecnologia SMARTech2b torna possível a recuperação de recursos de energia eficiente secundária. O sistema recupera 50% do fósforo, que pode ser usado como fertilizante, extrai materiais usados para produzir bioplásticos e reduz em 25% os custos de operação de uma ETE. Consiste em dois reatores em batelada sequencial, um para crescimento bacteriano heterotrófico e outro para crescimento de nitrificadores autotróficos. Também é usado um vaso de intercâmbio e um sistema químico para recuperação de fósforo como cristais de estruvita (Figura 10)^{5,17}.

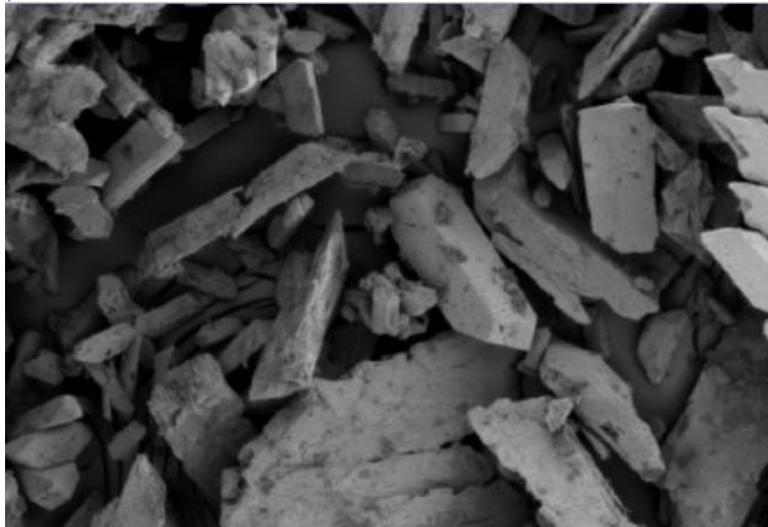


Figura 10: Cristais de Estruvita¹⁸.

- **SMARTech3**

A Tecnologia SMARTech3 é a solução que permite a recuperação de nitrogênio e fósforo dos efluentes para serem usados pelas indústrias de fertilizantes e produtos químicos. O objetivo é otimizar os ciclos de regeneração para a recuperação de nutrientes, tentando manter uma alta capacidade de absorção após cada ciclo de regeneração (Figura 11)^{5,19}.



Figura 11: Equipamentos do SMARTech3²⁰.

- **SMARTech4a**

A Tecnologia SMARTech4a (Figura 12) é o mecanismo que permite a integração da recuperação convencional de biogás a partir de lamas de esgoto com remoção eficiente e compacta de nitrogênio e recuperação de fósforo⁵.



Figura 12: Equipamentos do SMARTech4a ²¹.

- **SMARTech4b**

A Tecnologia SMARTech4b (Figura 13) viabiliza a integração da recuperação aprimorada de biogás (por hidrólise térmica) de lodo de esgoto com remoção de nitrogênio eficiente e compacta, e recuperação de fósforo¹⁵.



Figura 13: Equipamentos do SMARTech4b ²².

- **SMARTech5**

A Tecnologia SMARTech5 (Figura 14) é a mesma tecnologia na SMARTech2b, mas aplicada ao processo de tratamento de lodo secundário. Ela permite a integração da recuperação convencional de biogás do lodo de esgoto com a remoção de nitrogênio com eficiência energética da água rejeitada com lodo e a recuperação de fósforo na forma de estruvita⁵.



Figura 14: Estruvita proveniente da Tecnologia SMARTech5 ²³.



- **Pós-processamento A**

A Tecnologia de Pós-processamento A permite a utilização do volume dos materiais recuperados, como bioplásticos, para fabricar plástico biocompósito que pode ser usado na indústria ou na construção civil⁵.

- **Pós-processamento B**

A Tecnologia de Pós-processamento B permite a utilização agrônômica e para produção de energia através dos lodos com presença de celulose e fósforo. Baseia-se na utilização de energia térmica gerada na degradação da matéria orgânica em resíduos para eliminar a água, alcançando a auto-secagem. As lamas celulósicas desidratadas são reutilizadas como combustível em usinas de biomassa ou transformadas em fertilizantes comerciais⁵.

2.2.2 PRODUTOS RESULTANTES

A implementação de um sistema completo de tratamento de esgotos com a aplicação das Tecnologias *SMART Plant* poderá resultar em um portfólio enorme de produtos de uso industrial e agrícola.

- **Eficiência Energética**

Os sistemas voltados para utilização racional de energia são tecnologias eficientes que resultam em economia de energia. O objetivo é que as tecnologias *SMART Plant* reduzam a demanda de energia em mais de 50% e emissão de carbono em mais de 30%. A recuperação de energia também ocorrerá através do tratamento anaeróbico de esgoto, que consiste em um biofiltro híbrido anaeróbio que aplica uma nova matriz polimérica para imobilização de microorganismos anaeróbicos seletivos⁵.

- **Recuperação de Nutrientes**

O nitrogênio e o fósforo serão recuperados do efluente secundário usando meios de troca iônica. O fósforo será removido através da adoção de um meio híbrido de permuta iônica para remoção de fósforo e a amônia será removida usando mesólite, que é um tipo de zeólito. Tanto a amônia como o fosfato serão recuperados usando produtos químicos para regenerar os materiais absorvidos e adsorvidos, e recuperar os nutrientes como produtos químicos de alto valor agregado de sulfato de amônia e fosfato de cálcio. (Figura 15)⁵.



Figura 15: Recuperação de Nutrientes: Sulfato de Amônia e Fosfato de Cálcio ⁵.

Os nutrientes também serão recuperados como estruvita e lodo que é rico em fósforo, através do tratamento de esgotos municipais e água de rejeição de lodo. No primeiro caso, precipita-se com a adição de magnésio e ajuste adequado do pH.

No segundo caso, o aumento da remoção de fósforo biológico resulta no acúmulo de altas concentrações de fósforo na lama. Os produtos químicos produzidos e as lamas possuem alto valor agrônômico e serão aplicados no solo para demonstrar o aumento da produção vegetal¹⁵.

- **Produção de Biopolímeros**

Os biopolímeros serão recuperados tanto nas águas residuais como na linha de tratamento de lodo. Na linha principal de tratamento de águas residuais, o processo será aplicado para produzir biopolímeros e estruvita, garantindo uma qualidade adequada de efluentes tratados.

O biopolímero produzido (Figura 16) será utilizado em conjunto com o lodo celulósico recuperado para desenvolver compostos plásticos de lodo que podem ser utilizados no setor de construção civil¹⁵.



Figura 16: Biopolímeros ⁵.

- **Recuperação de Celulose**

A integração entre a peneiração dinâmica e o pós-processamento com filtro separa as fibras de celulose de papel higiênico nas águas residuais para produzir lodo altamente concentrado. O resultado é uma celulose comercializável limpa, seca e desinfetada (Figura 17), economizando energia e deixando muito menos resíduo (lodo secundário) ⁵.



Figura 17: Celulose limpa, seca e desinfetada ²⁴.

3. RESULTADOS

As tecnologias *SMART Plant* têm sido aplicadas em seis países integrantes do projeto: Holanda, Reino Unido, Espanha, Itália, Grécia e Israel. Os resultados obtidos e os quais são previstos em cada etapa são discutidos nos itens a seguir.

3.1. Holanda - Geestmerambacht

A Estação de Tratamento de Efluentes de Geestmerambacht situa-se entre Schoorldam e Koedijk, ao longo do Canal Noordholland na Província Holanda do Norte. O fluxo de tratamento abrange uma vazão mínima de 4,16 m³/h e vazão máxima de 16,3 m³/h (Figura 18) ⁵.



Figura 18: ETE Geestmerambacht ²⁵.

Nessa província, a tecnologia foi aplicada através da instalação do filtro Salsnes para produção de celulose limpa e comercializável (Figura 19) ²⁴.



Figura 19: Sistema de filtro Salsnes instalado na ETE Geestmerambacht ²⁴.

Com a finalidade de impulsionar e expandir a recuperação em maior escala da celulose e formular uma saída estrutural, os desenvolvedores e empresas cooperadoras fizeram uma instalação que produzirá aproximadamente 400 kg de celulose limpa por dia. Parte dessa celulose será exportada e usada como matéria-prima para o biocompósito e a celulose restante estará disponível para o desenvolvimento de outros produtos ²⁶.

3.2. Israel - Karmiel

A Estação de Tratamento de Efluentes de Karmiel (Figura 20) foi construída para tratar os efluentes da cidade de Karmiel e de sua região, incluindo efluentes provenientes de usos industriais por intermédio de uma parceria conjunta de parcelas idênticas da “*National Water Company Mekorot*” e da “*Regional Sewage Association*”. O efluente passa por um tratamento convencional de lodos ativados, fornecendo um lodo espesso, seguido de digestão anaeróbica e desidratação ⁵.



Figura 20: ETE Karmiel ²⁷.

Nesta estação é aplicada a tecnologia onde os efluentes são recuperados para uso agrícola irrestrito e, por meio do processo de estabilização aeróbica, foi possível a instalação do sistema de cogeração de energia para a utilização do biogás, com capacidade elétrica de 470kW (Figura 21)²⁷.



Figura 21: ETE Karmiel - Tratamento anaeróbico de resíduos ²⁸.

3.3. Espanha - Manresa

A ETE municipal de Manresa (Figura 22), localizada na Espanha, recebe uma vazão média de 27.000 m³/dia e consiste em um pré-tratamento (remoção de sólidos grosseiros e de areia), tratamento primário com um clarificador e um estágio biológico secundário⁵.



Figura 22: ETE Manresa ²⁹.

A ETE aplica a tecnologia para recuperar 50% de fósforo - que pode ser usado como fertilizante -, extrai materiais usados para produzir bioplásticos e reduz em 25% os custos de operação nos processos de tratamento (Figura 23)²⁸.



Figura 23: Reatores Sequenciados ⁵.

Nesta ETE também será implantado um sistema de pós-processamento que considera o material proveniente de resíduos sólidos orgânicos gerados na purga dos biorreatores e a reciclagem de outros materiais sólidos gerados com alto teor de nutrientes, com o intuito de otimizar dois tratamentos biológicos e constituir um combustível de biomassa de alta qualidade, com baixo consumo de energia, para obter um produto final com alto potencial calorimétrico através do lodo celulósico (Figura 24)⁵.



Figura 24: Lodo Celulósico (ETE Manresa) ⁵.



3.4. Reino Unido - Cranfield e Londres

A Estação de Tratamento de Esgotos de Cranfield (Figura 25), com fluxo afluente é de 675 m³/dia, trata os esgotos domésticos do Campus da Universidade de Cranfield, as águas pluviais do escoamento das ruas e do campo de aviação. O processo é composto por tratamento primário e secundário seguido de filtração⁵.



Figura 25: ETE Cranfield ³⁰.

Nesta ETE foram feitas instalações para aplicação da tecnologia através do processo de troca iônica (Figura 26) para remoção e recuperação de nutrientes¹⁹.



Figura 26: Equipamento para troca Iônica ⁵.

A planta piloto de Pós-processamento A (Figura 27) está localizada em Londres, no Reino Unido. O sucesso da produção do Composto Plástico de Lodo - SPC irá multiplicar a indústria de processamento, localizada à jusante, com um valor de 500 milhões de euros, reduzindo, assim, a dependência de fontes de matérias-primas estrangeiras e aumentando a competitividade do setor de construção europeu⁵.



Figura 27: Pós processamento A ⁵.

3.5 ITÁLIA – CARBONERA

A ETE municipal de Carbonera, localizada na região de Veneto no Norte da Itália (Figura 28), trata 15.000 m³/dia³¹.



Figura 28: ETE Carbonera ³².

A ETE possui a tecnologia que permite obter lodo rico em fósforo e polímeros.

3.6 GRÉCIA – PSITÁLIA

A ETE de *Psytalia* (Figura 29) é a maior estação de tratamento de esgotos na área metropolitana de Atenas, comportando uma vazão média de aproximadamente 730.000 m³ por dia e é uma das maiores na Europa e no mundo³³.



Figura 29: ETE Psitália ³⁴.

A tecnologia será aplicada na ETE Psitália para alta recuperação de biogás e fósforo⁵.

4. ANÁLISE DE DADOS

Na RMSP, o sistema usado para tratar esgotos é do tipo convencional com lodos ativados, seguido por um tratamento terciário. Os principais resíduos gerados nesse tratamento são: lodo, biogás e efluente final⁷.

Aplicar a tecnologia *SMART Plant* nas ETEs da RMSP pode trazer ganhos exponenciais, tendo em vista a quantidade de lodo gerado. Porém, a escolha de qual tipo de tecnologia usar deve ser ponderada individualmente, em função de seus aspectos técnicos, econômicos, ambientais, sociais e políticos.

Uma das formas de escolha da melhor tecnologia a ser aplicada é correlacionar o polo industrial com a maior capacidade de geração de determinado subproduto (Tabela 3) ^{5,7}.

Tabela 3: Dados das cinco principais ETEs da RMSP

Localização	Atividade industrial	Vazão média Esgoto (L/s)	Quantidade de Lodo (Ton/ dia)
ETE BARUERI	Metalurgia, Mecânica, Papel, Farmacêutica e Têxtil	12.000	400
ETE SUZANO	Têxtil, Química e Curtume	1.500	60
ETE SÃO MIGUEL	Metalurgia, Mecânica, Papel, Farmacêutica e Têxtil	1.500	90
ETE PARQUE NOVO MUNDO	Metalurgia, Mecânica, Papel, Farmacêutica, Têxtil e Borracha	2.500	165
ETE ABC	Metalurgia, Mecânica, Papel, Farmacêutica, Borracha e Química	3.000	175

Fonte: Adaptado de GONÇALVES, 2018 e SABESP, 2018 ^{11,35 – 39}.

Também é imprescindível que seja realizada uma pesquisa de mercado, identificando potenciais clientes e a viabilidade e aceitação da comercialização primária (fabricação) e final (consumidor). ETEs como Barueri e São Miguel, devido as atividades industriais próximas, poderiam receber as tecnologias SMARTech1, SMARTech2a, SMARTech2b, SMARTech4a, SMARTech4b, SMARTech5 e Pós-processamento A, gerando subprodutos como celulose, água de reuso, fósforo e bioplástico.

A celulose pode retornar ao processo produtivo dos papéis; a água de reuso pode ser utilizada na limpeza e resfriamento de maquinários; e o fósforo pode ser componente de ligas metálicas, que são produtos da indústria metalúrgica.

Nas ETEs Parque Novo Mundo e ABC poderiam ser aplicadas as tecnologias: SMARTech1, SMARTech2a, SMARTech2b, SMARTech4a, SMARTech4b, SMARTech5 e Pós-processamento A, gerando subprodutos como a celulose, água de reuso, fósforo e bioplástico, este último para produção de borracha nas indústrias da região.



A ETE de Suzano poderia implantar as tecnologias: SMARTech2a, SMARTech3, SMARTech4 e Pós-processamento B, gerando subprodutos como água de reuso, fertilizantes e fósforo. A indústria de curtume presente em Suzano gera esgoto com nutrientes, que poderiam gerar um grande volume de fertilizantes mediante aplicação do Pós-processamento B.

O Biogás também é um resíduo gerado pelas ETES da RMSP, porém ele não é aproveitado comercialmente, mas apenas queimado. Para torná-lo um subproduto comercialmente viável, é necessário um alto investimento para adequar os digestores anaeróbicos⁴⁰.

5. CONCLUSÃO

A geração de resíduos provenientes do alto consumo de produtos verificado no mundo é um dos grandes problemas que os governos tentam resolver. Porém, as ações públicas muitas vezes acontecem com grande atraso ou até mesmo não acontecem, fazendo com que o problema não pare de crescer.

Uma parte desses resíduos está no tratamento de esgotos efetuado pelas ETES, que geram grandes quantidades de lodo. Na RMSP, pouco é aproveitado economicamente e ambientalmente com esse resíduo para diminuir seu impacto, mas isso poderia ser diferente se fossem adotadas tecnologias avançadas de recuperação de resíduos, tal como a *SMART Plant*.

Este artigo mostrou que essa tecnologia já está bem desenvolvida em diversos países desenvolvidos, trazendo muitos resultados positivos dentro das fases de tratamento de esgotos, como polímeros, biogás, fósforo e celulose. Isso significa que as ETES da RMSP também poderiam aplicar essa tecnologia, conforme análise feita. Adequações são necessárias, entretanto, para que o desenvolvimento se torne realmente sustentável, faz-se necessário adotar tecnologias pareadas com a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

1. UNITED NATIONS. **Report of the world comission on environment and development**. Disponível em: <<http://www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm>>. Acesso em: 31 fev. 2018.
2. PEREIRA, Agostinho Oli Koppe (Org.); HORN, Luiz Fernando Del Rio(Org.). **Relações de consumo – meio ambiente**. Disponível em: <encurtador.com.br/kAOQV>. Acesso em: 05 dez. 2017.
3. REVISTA TAE. **Novas tecnologias para tratamento de água e efluentes**. 2018. Disponível em: <encurtador.com.br/zHUX2>. Acesso em: 09 abr. 2018.
4. NUVOLARI, Ariovaldo. **Esgoto Sanitário – Coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 1ª Ed. São Paulo. Edgard Blücher Ltda, 2003.
5. SMART-PLANT. **About Smart-Plant**. Disponível em: <<http://smart-plant.eu/index.php/the-project/about-smart-plant>>. Acesso em: 10 dez. 2017.
6. TSUTIYA, Pedro Alem Sobrinho Milton Tomoyuki. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. São Paulo: Universidade de São Paulo. Escola Politécnica, 2000.
7. SABESP. **Tratamento de Esgoto**. Disponível em: <<http://www.sabesp.com.br/CalandraWeb/CalandraRedirect/?temp=2&proj=sabesp&pub=T&nome=TratamentoDeEsgoto>>. Acesso em: 20 mar. 2018.
8. BITTENCOURT, Cláudia; PAULA, Maria Ap. Silva de. **Tratamento de Água e Efluentes - Fundamentos de Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos**. São Paulo. Érica, 2014.
9. VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v.01. Minas Gerais: ABES, 1995.
10. IBRAHIN, Francini Dias; IBRAHIN, Fábio José; CANTUÁRIA, Eliane Ramos. **Análise Ambiental - Gerenciamento de Resíduos e Tratamento de Efluentes**. 1ª edição. São Paulo. Érica, 2015.
11. SABESP. Estação de Tratamento de Esgotos de Suzano. Disponível em: <encurtador.com.br/GHQS3>. Acesso em: 15 fev. 2018.
12. COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS (COPASA). Disponível em: <www.copasa.com.br>. Acesso em: 13 fev. 2018.
13. EOS ORGANIZAÇÃO E SISTEMAS. **Tipos de Tratamento de Efluentes**. Disponível em: <<http://www.eosconsultores.com.br/tratamento-de-efluentes>>. Acesso em: 18 mar. 2018.
14. FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Tratamentos terciários de efluentes**. Brasil Escola. Disponível em: <<http://brasilescola.uol.com.br/quimica/tratamentos-terciarios-efluentes.htm>>. Acesso em: 14 fev. 2018.
15. WATER & WASTEWATER TREATMENT. **Smart-Plant Points Way to Circular Economy**. Disponível em:<<http://wwtonline.co.uk/features/smart-plant-points-way-to-circular-economy#.Wu4fw4gvxPa>>. Acessado em: 15 fev. 2018.



16. LINHA D'ÁGUA ENGENHARIA. **Salsnes**. Disponível em: <<http://www.linhadagua.pt/news/salsnes>>. Acesso em: 25 mar. 2018.
17. GENOCOV. **Succesful inaguration of the SCHEPPHAR pilot plant in Manresa WWTP**. Disponível em: < <http://www.genocov.com/who-we-are/news/succesful-inaguration-of-the-scepphar-pilot-plant-in-manresa-wwtp>>. Acesso em: 17 fev. 2018.
18. CARMONA, Juan Carlos. **Recuperação de nitrogênio e fósforo na forma de estruvita a partir de lodo gerado em processo biológico de tratamento de esgoto**. Escola Politécnica. São Paulo, 2017.
19. CRANFIELD UNIVERSITY. **New plant technology to remove and recover nutrients from wastewater**. Disponível em: < <https://www.cranfield.ac.uk/press/news-2017/new-plant-technology-to-remove-and-recover-nutrients-from-wastewater>>. Acesso em: 10 mar. 2017.
20. GUIDA, Samuela. **Tweet sobre SMARTech3**. 09 de fevereiro de 2018. CRANFIELD. Disponível em: < <https://pbs.twimg.com/media/DVmSbsbW0AE-Cys.jpg> >. Acesso em: 16 de mai de 2018.
21. H2020 SMART-PLANT. **Tweet sobre SMARTech4a**. 30 de jun de 2017. CARBONERA. Disponível em: <encurtador.com.br/fhkoC>. Acesso em: 16 de mai de 2018.
22. H2020 SMART-PLANT. **Tweet sobre SMARTech4b**. 15 de jun de 2017. CARBONERA. Disponível em: <encurtador.com.br/ixCLN>. Acesso em: 16 de mai de 2018.
23. SMART-PLANT. **Nutrient Recovery**. Disponível em: <encurtador.com.br/AJW48>. Acesso em: 10 mar. 2018.
24. SALSNES FILTER. **SMART-Plant Pilot Project: Recovering Cellulose from Salsnes Filter Sludge**. Disponível em: <<https://www.salsnes-filter.com/2017/07/06/smart-plant-pilot-project-recycling-salsnes-filter-sludge/>>. Acesso em: 30 abr. 2018.
25. GOOGLE MAPS. **Visão Geral da Estação de Tratamento de Esgotos de Geestmerambacht**. Disponível em: <encurtador.com.br/uBJY9>. Acesso em: 30 abr. 2018.
26. CIRTEC BV. **Cellulose recovery at wwtp Geestmerambacht**. Disponível em: <<http://www.cirtec.nl/en/cellulose-terugwinning-op-rwzi-geestmerambacht>>. Acesso em: 30 abr. 2018.
27. BALASHA-JALON INFRASTRUCTURE SYSTEMS LTD. **Karmiel WWTP - Israel**. Disponível em: <<http://www.bj-is.com/wwtp-7.html>>. Acesso em: 30 abr. 2018.
28. EL PERIÓDICO DE LA ENERGÍA (Espanha). **SCEPPHAR, una tecnología pionera que transforma depuradoras en biorrefinerías**. Disponível em: <<https://elperiodicodelaenergia.com/scepphar-una-tecnologia-pionera-que-transforma-depuradoras-en-biorrefinerias/>>. Acesso em: 30 abr. 2018.
29. GOOGLE MAPS. **Visão Geral da Estação de Tratamento de Esgotos de Manresa**. Disponível em: <encurtador.com.br/qsABG>. Acesso em: 30 abr. 2018.
30. GOOGLE MAPS. **Visão Geral da Estação de Tratamento de Esgotos de Cranfield**. Disponível em: <encurtador.com.br/hnpEX>. Acesso em: 30 abr. 2018.
31. ALTO TREVIGIANO SERVIZI. **Verso Un Modello Di Economia Circolare Nei Servizi Idrici: Dalla Teoria Alla Pratica l'Azione Di Innovazione Europea Horizon 2020 "SMART-Plant"**. Disponível em: <http://altotrevigianoservizi.it/images/varie/Inaugurazione_Smart-Plant_Carbonera.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2018.
32. GOOGLE MAPS. **Visão Geral da Estação de Tratamento de Esgotos de Carbonera**. Disponível em: <encurtador.com.br/myLW2>. Acesso em: 30 abr. 2018.
33. EYDAP SA (WATER SUPPLY AND SEWERAGE COMPANY) (Grécia). **Psytalia Wastewater Treatment Plant**. Disponível em: <<https://www.eydap.gr/userfiles/c3c4382d-a658-4d79-b9e2-ecff7ddd9b76/Fact-sheet-PWWTP.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2018.
34. AKTOR. **Psytalia Wastewater Treatment Plant**. Disponível em: <encurtador.com.br/CKV17>. Acesso em: 30 abr. 2018.
35. GONÇALVES, Maria Carolina. **A Questão dos Lodos Produzidos nas ETes na RMSP**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/noticentro/2007/10/sabesp.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2018.
36. SABESP. **ETE ABC**. Disponível em: <encurtador.com.br/lpyMS>. Acesso em: 15 abr. 2018.
37. SABESP. **ETE Barueri**. Disponível em: <encurtador.com.br/mAQX3>. Acesso em: 15 abr. 2018.
38. SABESP. **ETE Parque Novo Mundo**. Disponível em: <encurtador.com.br/jq278>. Acesso em: 15 abr. 2018.
39. SABESP. **ETE São Miguel**. Disponível em: <encurtador.com.br/owWY2>. Acesso em: 15 abr. 2018.
40. PORTAL SANEAMENTO BÁSICO. **Biogás gerado em ETE é transformado em eletricidade em Feira de Santana/BA**. Disponível em: <encurtador.com.br/coL03>. Acesso em: 20 abr. 2018.